



8. cvičení – Primitivní funkce

<https://www2.karlin.mff.cuni.cz/~kuncova/vyuka.php>, kuncova@karlin.mff.cuni.cz

Příklady

1. Najděte primitivní funkce F k následujícím funkcím f na maximální možné podmnožině reálných čísel a tuto množinu určete.

(a) $f(x) = x^{13}$

Řešení:

$$\int x^{13} dx = \frac{x^{14}}{14} + c$$

$$x \in \mathbb{R}$$

(b) $f(x) = \sqrt{x}$

Řešení:

$$\int \sqrt{x} dx = \int x^{\frac{1}{2}} dx = \frac{x^{\frac{3}{2}}}{\frac{3}{2}} + c = \frac{2\sqrt{x^3}}{3} + c$$

$$x \in (0, \infty)$$

(c) $f(x) = \frac{1}{x^3}$

Řešení:

$$\int \frac{1}{x^3} dx = \int x^{-3} dx = \frac{x^{-2}}{-2} + c = \frac{-1}{2x^2} + c$$

$$x \in (-\infty, 0), (0, \infty)$$

(d) $f(x) = \frac{1}{x}$

Řešení:

$$\int \frac{1}{x} dx = \ln|x| + c$$

$$x \in (-\infty, 0), (0, \infty)$$

(e) $f(x) = (1 + \sin x + \cos x)$

Řešení: Sledujte výpočet

$$\int (1 + \sin x + \cos x) dx = x - \cos x + \sin x + C.$$

$$x \in \mathbb{R}$$

(f) $f(x) = 7\sqrt[3]{x^2} + \frac{1}{2}\sin x - \frac{2}{1+x^2}$

Řešení:

$$\int 7\sqrt[3]{x^2} + \frac{1}{2}\sin x - \frac{2}{1+x^2} dx = \frac{7x^{5/3}}{5/3} - \frac{1}{2}\cos x - 2\arctan x + c$$

$$x \in \mathbb{R}$$

(g) $f(x) = \frac{2}{\cos^2 x} - e^x$

Řešení:

$$\int \frac{2}{\cos^2 x} - e^x dx = 2\tan x - e^x + c$$

$$x \in \left(-\frac{\pi}{2} + k\pi, \frac{\pi}{2} + k\pi\right), k \in \mathbb{Z}$$

$$(h) f(x) = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} + \frac{1}{1+x^2} + 1 + x^2$$

Řešení:

$$\int \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} + \frac{1}{1+x^2} + 1 + x^2 = \arcsin x + \arctan x + x + \frac{x^3}{3} + c$$

$$x \in (-1, 1)$$

$$(i) f(x) = \sqrt{x^3} - \frac{1}{\sqrt{x}}$$

Řešení:

$$\int \sqrt{x^3} - \frac{1}{\sqrt{x}} dx = \frac{x^{5/2}}{5/2} - \frac{x^{1/2}}{1/2} + c$$

$$x \in (0, \infty)$$

$$(j) f(x) = \frac{3x^2 + 4x + 2}{3x}$$

Řešení:

$$\int \frac{3x^2 + 4x + 2}{3x} dx = \int x + \frac{4}{3} + \frac{2}{3x} dx = \frac{x^2}{2} + \frac{4x}{3} + \frac{2}{3} \ln|x| + c$$

$$x \in (-\infty, 0), (0, \infty)$$

$$(k) f(x) = (1-x)(1-2x)(1-3x)$$

Řešení: Roznásobením

$$\int (1-x)(1-2x)(1-3x) dx = \int (1-6x+11x^2-6x^3) dx = x-3x^2+\frac{11}{3}x^3-\frac{3}{2}x^4+C.$$

$$x \in \mathbb{R}$$

$$(l) f(x) = \frac{x+1}{\sqrt{x}}$$

Řešení: Sledujte výpočet

$$\int \frac{x+1}{\sqrt{x}} dx = \int \left(\sqrt{x} + \frac{1}{\sqrt{x}} \right) dx = \int \left(x^{1/2} + x^{-1/2} \right) dx = \frac{x^{3/2}}{3/2} + \frac{x^{1/2}}{1/2} + C.$$

$$x \in (0, \infty)$$

$$(m) f(x) = \frac{1}{x+A}$$

Řešení: Víme, že primitivní funkce k funkci $\frac{1}{x}$ je $\ln|x|+C$. Tedy primitivní funkce k funkci $\frac{1}{ax+b}$ je $\frac{1}{a} \ln|ax+b|+C$. Odtud vyplývá, že (položte $a=1, b=A$)

$$\int \frac{1}{x+A} dx = \ln|x+A|+C.$$

$$x \in (-\infty, -A), (-A, \infty)$$

2. Dokažte, že pokud $F'(x) = f(x)$, potom $(\frac{1}{a}F(ax+b)+C)' = f(ax+b)$, pokud $a \neq 0$.

Řešení: Plyne z Věty o aritmetice derivací a derivace složené funkce.

3. Najděte primitivní funkce F k následujícím funkcím f na maximální možné podmnožině reálných čísel a tuto množinu určete.

(a) $f(x) = \cos(3x)$

Řešení:

$$\int \cos 3x \, dx = \frac{1}{3} \sin 3x + c$$

$x \in \mathbb{R}$

(b) $f(x) = \sin(2x - \pi)$

Řešení:

$$\int \sin(2x - \pi) \, dx = -\frac{1}{2} \cos(2x - \pi) + c$$

$x \in \mathbb{R}$

(c) $f(x) = e^{5-3x}$

Řešení:

$$\int e^{5-3x} \, dx = \frac{-1}{3} e^{5-3x} + c$$

$x \in \mathbb{R}$

(d) $f(x) = \frac{1}{1+4x^2}$

Řešení:

$$\int \frac{1}{1+4x^2} \, dx = \int \frac{1}{1+(2x)^2} \, dx = \frac{1}{2} \arctan 2x + c$$

$x \in \mathbb{R}$

(e) $f(x) = \frac{1}{1-4x}$

Řešení:

$$\int \frac{1}{1-4x} \, dx = -\frac{1}{4} \ln |1-4x| + c$$

$x \in (-\infty, \frac{1}{4}), (\frac{1}{4}, \infty)$

(f) $f(x) = (2x+1)^7$

Řešení:

$$\int (2x+1)^7 \, dx = \frac{1}{16} (2x+1)^8 + c$$

$x \in \mathbb{R}$

(g) $f(x) = e^{3x} + \frac{7}{x}$

Řešení:

$$\int e^{3x} + \frac{7}{x} \, dx = \frac{1}{3} e^{3x} + 7 \ln |x| + c$$

$x \in (-\infty, 0), (0, \infty)$

(h) $f(x) = (e^{-x} + e^{-2x})$

Řešení: Pomocí lineární substituce $y = -x$, resp. $y = -2x$ dostaneme

$$\int (e^{-x} + e^{-2x}) \, dx \stackrel{C}{=} -e^{-x} - \frac{1}{2} e^{-2x}$$

$x \in \mathbb{R}$

(i) $f(x) = (3 - x^2)^3$

Řešení: Tento příklad substituovat nelze, je třeba roznásobit.

$$\int (3 - x^2)^3 dx = \int (27 - 27x^2 + 9x^4 - x^6) dx = 27x - 9x^3 + \frac{9}{5}x^5 - \frac{x^7}{7} + C.$$

$x \in \mathbb{R}$

(j) $f(x) = (\sin 5x - \sin 5\alpha)$

Řešení: Pomocí lineární substituce $y = 5x$ dostaneme

$$\int (\sin 5x - \sin 5\alpha) dx = -\frac{1}{5} \cos 5x - x \sin 5\alpha + c,$$

$x \in \mathbb{R}$,

neboť $\sin 5\alpha$ je konstantní funkce (nezávislá na proměnné x).

(k) $f(x) = \frac{1}{x-2} + (3x+7)^5$

Řešení:

$$\int \frac{1}{x-2} + (3x+7)^5 dx = \ln|x-2| + \frac{1}{18}(3x+7)^6 + c$$

$x \in (-\infty, 2), (2, \infty)$

(l) $f(x) = \frac{1}{\sin^2(2x + \frac{\pi}{4})}$

Řešení: Pomocí lineární substituce $y = 2x + \frac{\pi}{4}$ dostaneme

$$\int \frac{1}{\sin^2(2x + \frac{\pi}{4})} dx \stackrel{C}{=} -\frac{1}{2} \operatorname{cotg}\left(2x + \frac{\pi}{4}\right)$$

$2x + \frac{\pi}{4} \neq k\pi$, tedy $x \neq k\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{8}$, $k \in \mathbb{Z}$

Závěr: $x \in (-\frac{\pi}{8} + k\frac{\pi}{2}, \frac{3}{8}\pi + k\frac{\pi}{2})$.

(m) $f(x) = \frac{-2}{\sqrt{1-2x^2}}$ **Řešení:**

$$\int \frac{-2}{\sqrt{1-2x^2}} dx = \int \frac{-2}{\sqrt{1-(\sqrt{2}x)^2}} dx = \frac{-2}{\sqrt{2}} \arcsin(\sqrt{2}x) + c$$

$\sqrt{2}x \in (-1, 1)$, tedy $x \in (-\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}})$.

4. Najděte primitivní funkce F k následujícím funkcím f na maximální možné podmnožině reálných čísel a tuto množinu určete.

(a) $f(x) = \frac{e^{2x} - 1}{e^x + 1} + \frac{4}{1 - \cos^2 x}$

Řešení:

$$\begin{aligned} \int \frac{e^{2x} - 1}{e^x + 1} + \frac{4}{1 - \cos^2 x} dx &= \int \frac{(e^x - 1)(e^x + 1)}{e^x + 1} + \frac{4}{\sin^2 x} dx = \int (e^x - 1) + \frac{4}{\sin^2 x} dx \\ &= e^x - x - 4 \cot x + c \end{aligned}$$

$x \in (k\pi, \pi + k\pi)$, $k \in \mathbb{Z}$

(b) $f(x) = \frac{1}{\sqrt{4 - (3x - 1)^2}}$

Řešení:

$$\int \frac{1}{\sqrt{4 - (3x - 1)^2}} dx = \int \frac{1}{2\sqrt{1 - \left(\frac{3x-1}{2}\right)^2}} dx = \frac{1}{3} \arcsin\left(\frac{3x-1}{2}\right) + c$$

$x \in (-1/3, 1)$

(c) $f(x) = (1 - \sqrt{x})^2$

Řešení:

$$\int (1 - \sqrt{x})^2 dx = \int 1 - 2\sqrt{x} + x dx = x - \frac{4}{3}\sqrt{x^3} + \frac{x^2}{2} + c$$

$x \in (0, \infty)$

(d) $f(x) = \tan^2 x$

Řešení: Sledujte výpočet

$$\int \operatorname{tg}^2 x dx = \int \frac{\sin^2 x}{\cos^2 x} dx = \int \frac{1 - \cos^2 x}{\cos^2 x} dx = \int \left(\frac{1}{\cos^2 x} - 1 \right) dx = \operatorname{tg} x - x + C.$$

$x \in \left(-\frac{\pi}{2} + k\pi, \frac{\pi}{2} + k\pi\right), k \in \mathbb{Z}$

(e) $f(x) = \frac{x^2}{1 + x^2}$

Řešení: Sledujte výpočet

$$\int \frac{x^2}{1 + x^2} dx = \int \frac{(1 + x^2) - 1}{1 + x^2} dx = \int \left(1 - \frac{1}{1 + x^2} \right) dx = x - \arctan x + C.$$

$x \in \mathbb{R}$

(f) $f(x) = \frac{x^2 + 3}{x^2 - 1}$

Řešení: Sledujte výpočet

$$\begin{aligned} \int \frac{x^2 + 3}{x^2 - 1} dx &= \int \frac{x^2 - 1 + 4}{x^2 - 1} dx = \int \left(1 + \frac{4}{x^2 - 1} \right) dx = \int \left(1 - \frac{4}{1 - x^2} \right) dx \\ &= x - 2 \ln \left| \frac{1 + x}{1 - x} \right| + C. \end{aligned}$$

$x \in (-\infty, -1), (-1, 1), (1, \infty)$

(g) $f(x) = (2^x + 3^x)^2$

Řešení: Sledujte výpočet

$$\int (2^x + 3^x)^2 dx = \int (4^x + 2 \cdot 6^x + 9^x) dx = \frac{4^x}{\ln 4} + \frac{2 \cdot 6^x}{\ln 6} + \frac{9^x}{\ln 9} + C.$$

$x \in \mathbb{R}$

(h) $f(x) = \frac{1}{2 + 3x^2}$

Řešení: Výraz převedeme na tvar $\frac{1}{1+c^2x^2}$ a poté uijeme substituci $y = cx$.

$$\int \frac{1}{2 + 3x^2} dx = \frac{1}{2} \int \frac{1}{1 + \left(\sqrt{\frac{3}{2}}x\right)^2} dx \stackrel{C}{=} \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2}{3}} \arctan \sqrt{\frac{3}{2}}x = \sqrt{\frac{1}{6}} \arctan \sqrt{\frac{3}{2}}x$$

$x \in \mathbb{R}$

(i) $f(x) = \cotg^2 x$

Řešení: Sledujte výpočet

$$\begin{aligned} \int \cotg^2 x dx &= \int \frac{\cos^2 x}{\sin^2 x} dx = \int \frac{1 - \sin^2 x}{\sin^2 x} dx = \int \left(\frac{1}{\sin^2 x} - 1 \right) dx \\ &= -\cotg x - x + C. \end{aligned}$$

$x \in (k\pi, \pi + k\pi), k \in \mathbb{Z}$

(j) $f(x) = \frac{1}{\sqrt{2-5x}}$

Řešení: Protože je

$$\int \frac{1}{\sqrt{y}} dy = 2\sqrt{y},$$

platí

$$\int \frac{1}{\sqrt{2-5x}} dx \stackrel{C}{=} \frac{1}{-5} \cdot 2\sqrt{2-5x} = -\frac{2}{5}\sqrt{2-5x}$$

$x \in (-\infty, 2/5)$

(k) $f(x) = \left(\frac{a}{x} + \frac{a^2}{x^2} + \frac{a^3}{x^3} \right), a \in \mathbb{R}$

Řešení: Sledujte výpočet

$$\int \left(\frac{a}{x} + \frac{a^2}{x^2} + \frac{a^3}{x^3} \right) dx = a \ln |x| - \frac{a^2}{x} - \frac{a^3}{2x^2} + C.$$

$x \in (-\infty, 0), (0, \infty)$

5. Najděte takovou funkci, aby $f'(x) = 6x(1-x)$ a $f(0) = 1$.

Řešení: $\int 6x(1-x) dx = -2x^3 + 3x^2 + c$. Ježto máme $f(0) = 1$, tak $1 = -2 \cdot 0^3 + 3 \cdot 0^2 + c = c$. Hledaná funkce je tedy $f(x) = -2x^3 + 3x^2 + 1, x \in \mathbb{R}$.

6. Najděte chyby

(a) $\int x^2 e^x dx = \frac{1}{3} x^3 e^x + c$

Řešení: Integrál součinu není součin integrálů, stejně jako u derivací.

(b) $\int \frac{x}{\sqrt{1-x^2}} dx = x \int \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} dx = x \arcsin x + c$

Řešení: x nelze vytknout před integrál, to můžeme jen u konstanty.